

## STAGE CONTROL METHOD AND SCANNING ALIGNER

**Patent number:** JP2000040658  
**Publication date:** 2000-02-08  
**Inventor:** UEDA TOSHIO  
**Applicant:** NIKON CORP  
**Classification:**  
 - International: H01L21/027; G03F7/20  
 - european:  
**Application number:** JP19980225245 19980724  
**Priority number(s):**

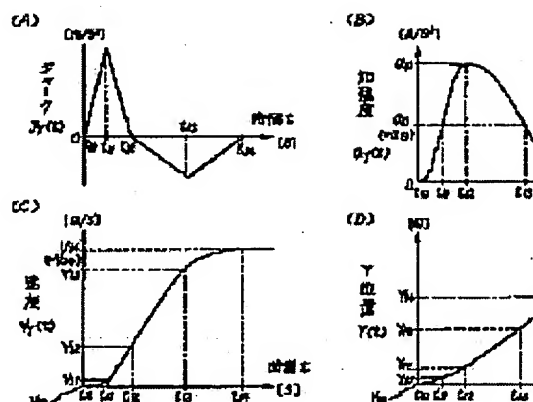
Also published :

 JP20000

### Abstract of JP2000040658

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress the excitation of high-frequency oscillation of stage due to acceleration, by a method wherein a stage is continuously accelerated while increasing the time variation rate from the second value to almost zero from the fifth time to the sixth time for almost zeroing the acceleration of the stage in the sixth time.

**SOLUTION:** For the stage control in Y direction, as for the functions of the time t, following factors are to be taken into consideration, i.e., Y position Y(t), Y directional velocity VY(t), Y directional acceleration &alpha;(t) and Y directional jerk Jy(t) from the acceleration starting time ts (=t10) as the first time to the acceleration finishing time tE (=t14) as the sixth time. Firstly, during the acceleration starting time t10 to the acceleration finishing time t14, the term from the time t13 to the time t14 is set up as the increasing term of the jerk Jy to zero. Besides, jerk JY(t) in respective terms is set up as the linear functions JLY(t) of the time t.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-40658  
(P2000-40658A)

(43) 公開日 平成12年2月8日 (2000.2.8)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 6 B 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1
		H 0 1 L 21/30	5 1 8

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平10-225245  
(22) 出願日 平成10年7月24日 (1998.7.24)

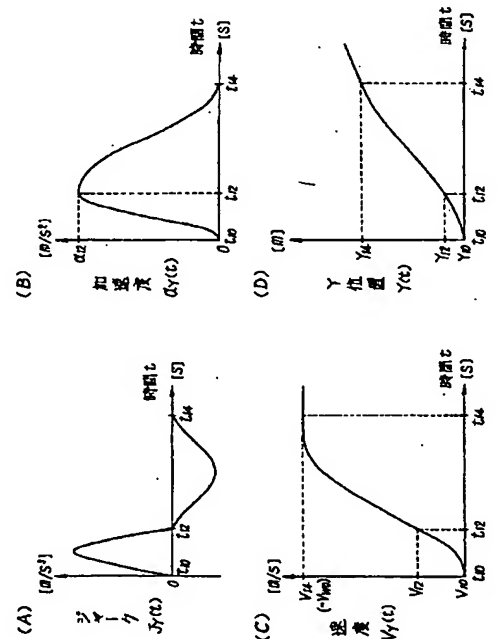
(71) 出願人 000004112  
株式会社ニコン  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
(72) 発明者 上田 稔夫  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内  
(74) 代理人 100102901  
弁理士 立石 篤司 (外1名)  
Fターム(参考) 5F046 BA04 BA05 CO01 CO03 CC13

(54) 【発明の名称】 ステージ制御方法及び走査型露光装置

(57) 【要約】

【課題】 加速によるステージの高周波振動励起を抑制し、整定時間の短縮化を図る。

【解決手段】 ステージの加速期間におけるステージの加速度の時間変化率（ジャーク）を連続的に変化させる。そして、ステージの加速の終了時点において、加速度がほぼ0となるとともに、ジャークも0とする。これにより、ジャークの時間変化における高周波成分を低減し、ステージの高周波振動の発生を抑制する。この結果、ステージの振動の減衰時間すなわちステージの整定時間を短く設定することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ステージの所定方向への加速を制御するステージ制御方法であって、

第1の時刻から第2の時刻まで、前記ステージの前記所定方向に関する加速度の時間変化率をほぼ0から第1の値へ連続的に増加させつつ、前記ステージを加速する第1工程と；前記第2の時刻から第3の時刻まで、前記時間変化率を前記第1の値からほぼ0へ連続的に減少させつつ、前記ステージを加速する第2工程と；前記第3の時刻以後の時刻である第4の時刻から第5の時刻まで、前記時間変化率をほぼ0から第2の値へ連続的に減少させつつ、前記ステージを加速する第3工程と；前記第5の時刻から第6の時刻まで、前記時間変化率を前記第2の値からほぼ0へ連続的に増加させつつ前記ステージを加速し、前記第6の時刻における前記ステージの加速度をほぼ0とする第4工程とを含むステージ制御方法。

【請求項2】 前記第4の時刻から前記第6の時刻までの前記時間変化率の時間変化は、時間を変数として微分可能な滑らかな変化であることを特徴とする請求項1に記載のステージ制御方法。

【請求項3】 前記第1の時刻から前記第3の時刻までの前記時間変化率の時間変化は、時間を変数として微分可能な滑らかな変化であることを特徴とする請求項2に記載のステージ制御方法。

【請求項4】 前記時間変化率の時間変化は、時間を変数とする4次関数であることを特徴とする請求項2又は3に記載のステージ制御方法。

【請求項5】 前記第3の時刻と前記第4の時刻とは、互いに異なる時刻であり、前記第3の時刻から前記第4の時刻までの前記時間変化率はほぼ0であることを特徴とする請求項1に記載のステージ制御方法。

【請求項6】 前記第1の時刻から前記第3の時刻までの時間は、前記第4の時刻から前記第6の時刻までの時間よりも短いことを特徴とする請求項1に記載のステージ制御方法。

【請求項7】 マスクと感応基板とを同期移動しつつ、前記マスクに形成されたパターンを前記感応基板上に転写する走査型露光装置であって、前記マスクを保持するマスクステージと；前記感応基板を保持する基板ステージと；前記マスクに形成されたパターンの前記感応基板上への転写に際し、請求項1～6のいずれかのステージ制御方法によって前記マスクステージ及び前記基板ステージをそれぞれの同期移動方向の目標速度まで加速する制御系とを備える走査型露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ステージ制御方法及び走査型露光装置に係り、より詳しくは、マスクと感応基板とを同期移動しつつ、マスクのパターンの像を感

応基板上に転写する走査型露光装置及びこの装置に適用されるステージ制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子又は液晶表示素子等をリソグラフィ工程で製造する際に、露光光の下でフォトマスク又はレチクル（以下「レチクル」と総称する）のパターンを投影光学系を介して感応基板、例えばウエハ上に投影する投影露光装置が使用されている。かかる装置としては、従来は、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置（いわゆるステッパー）が主流であったが、半導体素子の高集積化によるパターンの微細化に伴い、より大面積かつ高精度な露光が可能なステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置が主流となりつつある。

【0003】この走査型露光装置では、露光前にレチクルを保持するレチクルステージとウエハを保持するウエハステージとが相互に正しい位置関係になっているかを確認した後、これらのステージの制御を速度制御モードに切り替え、露光のためのスキャン動作を実行していた。この速度制御モードでは、双方のステージが、それぞれの目標位置において、それぞれの目標速度となるように加速され、その後レチクルステージとウエハステージが投影光学系の投影倍率に応じた速度比で互いに逆方向に同期して移動し、これにより照明光により照明された領域のレチクル上のパターンが投影光学系を介してウエハ上に逐次転写されるようになっていた。

【0004】上記の加速にあたっては、上記の目標位置における目標速度の達成と、その後の走査露光中の等速移動との要請に応じ、加速度の時間波形を折れ線状や放物線状としてステージを加速し、ステージの移動制御を行う手法が行われていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述のようなステージの移動制御によってステージの加速が行われると、加速の終了時点において、ステージに振動が発生することが知られている。したがって、ステージの加速が終了した時点においては、ステージが振動している状態にあり、走査方向への安定した等速移動とはなっていない。

【0006】こうしたステージの振動波形は様々な周波数成分を含むが、ステージの制御系の応答周波数よりも高い周波数成分が存在すると、この周波数成分を減衰させるためには、ステージを加速されない状態におき、時間的に振幅が減少するのを待つ必要がある。そこで、走査型露光装置では、走査露光の開始に先立って、加速後にステージの整定時間を設け、この整定時間が経過し、ステージの振動の振幅が許容値以下になった後、走査露光を開始することにしていた。

【0007】一方、走査型露光装置ではスループットの向上のため、走査速度の向上や加速時間の短縮が図られているが、このために高加速度による加速を行うと高周

波振動の振幅が大きくなる傾向があるので、ステージの加速終了から走査露光の開始までに長い整定時間を設けることが必要となる。このことが、装置のスループット向上の障害となっていた。

【0008】本発明は、かかる事情の下になされたものであり、その第1の目的は、加速によるステージの高周波振動励起を抑制できるステージの制御方法を提供することにある。

【0009】また、本発明の第2の目的は、加速によるステージの高周波振動励起を抑制することによりステージの整定時間を短縮し、スループットを向上しつつ高精度の露光が可能な走査型露光装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、ステージの所定方向への加速を制御するステージ制御方法であって、第1の時刻から第2の時刻まで、前記ステージの前記所定方向に関する加速度の時間変化率をほぼ0から第1の値へ連続的に増加させつつ、前記ステージを加速する第1工程と；前記第2の時刻から第3の時刻まで、前記時間変化率を前記第1の値からほぼ0へ連続的に減少させつつ、前記ステージを加速する第2工程と；前記第3の時刻以後の時刻である第4の時刻から第5の時刻まで、前記時間変化率をほぼ0から第2の値へ連続的に減少させつつ、前記ステージを加速する第3工程と；前記第5の時刻から第6の時刻まで、前記時間変化率を前記第2の値からほぼ0へ増加させつつ前記ステージを連続的に加速し、前記第6の時刻における前記ステージの加速度をほぼ0とする第4工程とを含む。

【0011】本発明者が研究の結果から得た知見によれば、加速によってステージに発生する高周波振動の大きさは、ステージの加速度の時間変化率（以下、「ジャーク」とも呼ぶ）の時間変化における高周波成分が大きくなる程、大きくなる。

【0012】請求項1のステージ制御方法では、これを考慮して、ステージの加速期間である第1の時刻から第6の時刻までの間において、ステージの加速度は連続的に変化させることにしている。そして、ステージの加速の終了時点である第6の時刻において、加速度がほぼ0となるとともに、加速度の時間変化率、すなわちジャークも0となる。したがって、ジャークの時間変化における高周波成分が低減され、その結果ステージの高周波振動の発生が抑制されるので、ステージの加速終了から走査露光の開始までに設けられる振動の減衰時間すなわちステージの整定時間を短く設定することができる。

【0013】請求項1のステージ制御方法において、前記第4の時刻から前記第6の時刻までのジャーク（前記時間変化率）の時間変化の態様には様々考えられるが、請求項2に記載の発明のように、前記第4の時刻から前記第6の時刻までの前記時間変化率の時間変化を、時間

を変数として微分可能な滑らかな変化とすることが好ましい。かかる場合には、ステージの加速終了時点の直前の加速期間におけるジャークの時間変化が微分可能な滑らかな変化となっているので、ジャークの時間変化に関する高周波成分が低減される。したがって、ステージの加速終了時点におけるステージの高周波振動が抑制されるので、ステージの整定時間を短くすることができる。

【0014】請求項2のステージ制御方法において、請求項3に記載の発明のように、前記第1の時刻から前記第3の時刻までのジャークの時間変化を、時間を変数として微分可能な滑らかな変化とすることが好ましい。かかる場合には、全加速期間においてジャークの時間変化が連続的であり、かつ、ジャークが正の期間及びジャークが負の期間のそれぞれにおいて、ジャークの時間変化が微分可能な滑らかな変化となっているので、ジャークの時間変化に関する高周波成分が更に低減される。したがって、ステージの加速終了時点におけるステージの高周波振動が更に抑制されるので、ステージの整定時間を更に短くすることができる。

【0015】請求項2又は3のステージ制御方法において、前記第4時刻から前記第6の時刻までのジャークの時間変化の態様又は前記第1時刻から前記第3の時刻までのジャークの時間変化の態様には様々考えられるが、請求項4に記載の発明のように、前記時間変化率（ジャーク）の時間変化を、時間を変数とする4次関数とすることが可能である。

【0016】注目する期間（すなわち、第4時刻から第6の時刻までの期間又は第1時刻から第3の時刻までの期間）を時間を変数とする多次関数で表すとき、その関数が満たすべき境界条件は、一般に、その期間の開始時刻（すなわち、第4の時刻又は第1の時刻）におけるジャーク値、加速度値、速度値、及び位置、並びにその期間の終了時刻（すなわち、第6の時刻又は第3の時刻）におけるジャーク値、加速度値、速度値、及び位置という8つの条件となる。

【0017】そこで、請求項4のステージ制御方法では、ジャークの時間変化を時間の4次関数とする、すなわち、位置の時間変化を時間の7次関数とするので、上記の8つの境界条件を必ず満足させることができる。

【0018】請求項1のステージ制御方法において、第3の時刻と第4の時刻とは同一時刻であってもよいが、請求項5に記載の発明のように、前記第3の時刻と前記第4の時刻とが、互いに異なる時刻であり、前記第3の時刻から前記第4の時刻までの前記時間変化率がほぼ0であるとすることができる。かかる場合には、ステージの加速期間中における最大加速度で第3の時刻から第4の時刻までステージが加速されることから、第3の時刻と第4の時刻とが一致する場合と比べて、一定の期間で目標速度まで加速するときに、最大加速度を小さく、すなわち、ステージに加える力の最大値を低減することが

できるからである。

【0019】請求項6に記載の発明は、請求項1のステージ制御方法において、前記第1の時刻から前記第3の時刻までの時間は、前記第4の時刻から前記第6の時刻までの時間よりも短いことを特徴とする。

【0020】これによれば、加速終了前の加速度の減少期間、すなわちジャークが負の値となっている第4の時刻から第6の時刻までの時間を十分に確保できる。したがって、加速終了直前のジャークの時間変化を緩やかなものとできるので、ステージに発生する高周波振動の発生を抑制でき、ステージの整定時間を短くすることができる。

【0021】請求項7に記載の発明は、マスクと感応基板とを同期移動しつつ、前記マスクに形成されたパターンを前記感応基板上に転写する走査型露光装置であって、前記マスクを保持するマスクステージと；前記感応基板を保持する基板ステージと；前記マスクに形成されたパターンの前記感応基板上への転写に際し、請求項1～6のいずれかのステージ制御方法によって前記マスクステージ及び前記基板ステージをそれぞれの同期移動方向の目標速度まで加速させる制御系とを備える。

【0022】これによれば、マスクに形成されたパターンを感応基板上へ転写するために行われる走査露光に先立って、制御系により、請求項1～6のいずれかのステージ制御方法によってマスクステージ及び基板ステージがそれぞれの同期移動方向の目標速度まで加速される。したがって、加速終了時におけるマスクステージ及び基板ステージの高周波振動が抑制され、加速終了後の整定時間を短くすることができる。この結果、スループットを向上しつつ高精度の露光が可能となる。

【0023】

【発明の実施の形態】《第1の実施形態》以下、本発明の第1の実施形態を図1～図6に基づいて説明する。

【0024】図1には、第1の実施形態に係る走査型露光装置10の概略構成が示されている。この走査型露光装置10は、露光光ILによりマスクとしてのレチクルRを照明する照明系12と、レチクルRをY軸方向（図1における左右方向）に走査するとともにXY面内で微少駆動するレチクル側ステージ系14と、このレチクル側ステージ系14の下方に配置された投影光学系PLと、この投影光学系PLの下方に配置され感応基板としてのウエハWをXY面内で2次元移動させるウエハ側ステージ系16と、装置全体を統括的に制御するマイクロコンピュータ（又はワークステーション）から成る主制御系18とを備えている。

【0025】前記照明系12は、光源系20、ミラー22、視野絞りとしてのレチクルブラインド24、リレーレンズ26、ミラー28及びコンデンサレンズ30等を含んで構成されている。この内、光源系20は、例えば超高圧水銀ランプ又はレーザー光源等の光源及びオプティ

カルインテグレート等より構成されている。また、レチクルブラインド24は、レチクルRの下面のパターン形成面と共役な位置に配置されている。

【0026】光源系20から出射された露光光ILは、ミラー22、レチクルブラインド24、リレーレンズ26、ミラー28及びコンデンサレンズ30を経て均一な照度で、レチクルR上のレチクルブラインド24によって規定されたスリット状の照明領域を照明する。この場合、スリット状の照明領域の長手方向がX方向（図1における紙面直交方向）に設定され、レチクルRとそのスリット状の照明領域との相対走査の方向はY方向であるとする。

【0027】前記レチクル側ステージ系14は、XY平面に平行に配置され、その上面に不図示のリニアガイドがY軸方向に延設されたレチクル側ベース32と、このレチクル側ベース32上を上記リニアガイドに沿って移動するマスクステージとしてのレチクル粗動ステージ34と、このレチクル粗動ステージ34上に載置されレチクルRを保持してXY平面内での微動（回転を含む）するレチクル微動ステージ36とを有している。

【0028】レチクル微動ステージ36上には、移動鏡38が設けられており、この移動鏡38にレーザビームを投射し、その反射光を受光することによりレチクル微動ステージ36の位置を検出するレチクルレーザ干渉計40が、移動鏡38に対向して設けられている。ここで、実際には、移動鏡は、X軸方向に直交する反射面を有するX移動鏡と、Y軸方向に直交する反射面を有する2つのY移動鏡の合計3つの移動鏡が設けられ、これに対応してレチクルレーザ干渉計もX軸方向位置計測用干渉計と2つのY軸方向位置計測用干渉計との合計3つが設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡38、レチクルレーザ干渉計40として示されている。

【0029】これらの3つのレチクルレーザ干渉計の出力は、主制御系18に供給されており、主制御系18ではX軸方向位置計測用干渉計の出力に基づいてレチクル微動ステージ36のX位置を計測し、2つのY軸方向位置計測用干渉計の出力の平均値に基づいてレチクル微動ステージ36のY位置を算出し、2つのY軸方向位置計測用干渉計の出力の差分に基づいてレチクル微動ステージ36のXY面内での回転角を算出するようになっている。

【0030】前記投影光学系PLとしては、その光軸方向がXY平面に直交するZ軸方向とされ、例えば両側テレセントリックで所定の縮小倍率 $\beta$ （ここでは、 $\beta=1/4$ とする）を有する屈折光学系が用いられている。このため、露光時には、レチクルRのパターン領域内のスリット状の照明領域のパターンの縮小像が投影光学系PLを介してその表面にフォトリソグが塗布されたウエハW上の照明領域に共役な露光領域に投影露光される。

【0031】前記ウエハ側ステージ系16は、XY平面

に平行に配置されたウエハ側ベース42と、このウエハ側ベース42上をウエハWを保持してXY2次元方向に自在に移動する基板ステージとしてのウエハステージ44とを有している。ここで、ウエハステージ44は、実際には、ウエハ側ベース42上に不図示のエアパッドを介して浮上支持され、ベース42上面に沿って2次元移動するXYステージと、このXYステージ上に設けられたレベリング用のステージと、このレベリング用のステージ上に配置され、ウエハを保持するZ・θステージ等を含んで構成されるが、図1ではこれらが代表的にウエハステージ44として示されている。

【0032】ウエハステージ44上には、移動鏡46が設けられており、この移動鏡に46にレーザビームを投射し、その反射光を受光することによりウエハステージ44の位置を検出するウエハレーザ干渉計48が、移動鏡46に対向して設けられている。ここで、実際には、移動鏡は、Y軸方向に直交する反射面を有するY移動鏡と、X軸方向に直交する反射面を有するX移動鏡とが設けられ、これに対応してウエハレーザ干渉計として、Y移動鏡からの反射光を受光するY軸方向位置計測用干渉計と、X移動鏡からの反射光を受光するX軸方向位置計測用干渉計及び回転計測用干渉計との合計3つが設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡46、ウエハレーザ干渉計48として示されている。

【0033】これらの3つのウエハレーザ干渉計の出力は、主制御系18に供給されており、主制御系18ではX軸方向位置計測用干渉計の出力に基づいてウエハステージ44のX位置を計測し、Y軸方向位置計測用干渉計の出力に基づいてウエハステージ44のY位置を計測し、X軸方向位置計測用干渉計の出力に対する回転計測用干渉計の出力に基づいてウエハステージ44のXY面内での回転角を算出するようになっている。

【0034】主制御系18は、露光時に、例えば、不図示の相対走査用の駆動装置を介してレチクル粗動ステージ34を所定の走査速度 $V_{RO}$ で+Y方向に走査すると同期して不図示の駆動装置を介してウエハステージ44を-Y方向に走査速度 $V_{WO}$  ( $V_{WO} = \beta \cdot V_{RO}$ ; 例えば、 $\beta = 1/4$ 又は $\beta = 1/5$ : 本実施形態では $\beta = 1/4$ )で走査し、この際に生ずるレチクル粗動ステージ34とウエハステージ44との相対速度誤差を吸収し、レチクルRとウエハWとの相対速度と位置が正確に1:  $\beta$ になるように不図示の微動制御用の駆動装置を介してレチクル微動ステージ36の動作を制御する。これにより、露光光ILで照明されたスリット状の照明領域に対してレチクルRが+Y方向に走査されると同期して照明領域と共役な露光領域に対してウエハWが投影光学系PLの縮小倍率に応じた速度で-Y方向に走査され、レチクルRのパターン形成面に形成されたパターンの像がウエハW上のショット領域に逐次転写される。なお、この露光時の各ステージの具体的な制御方法については後

に詳述する。

【0035】また、1つのショット領域の露光が終了すると、主制御系18では、ウエハステージ44を非走査方向(X方向に)所定距離移動して、次のショットの露光開始位置へのステッピング動作を行った後、走査露光を行い、このようにしてステップ・アンド・スキャン方式で露光を行なう。

【0036】図2には、本実施形態に係る走査型露光装置10のステージ制御系の制御ブロック図が示されている。この図2に示されるステージ制御系は、図1の主制御系18の機能(ソフトウェアにて実現される)を制御ブロック図にて示したものであるが、各構成要素を対応する個々のハードウェアにて構成しても良い。

【0037】このステージ制御系は、不図示のメインコンピュータからの指示に応じ、非走査方向(すなわち、X方向)に関するウエハステージの速度指令値 $V_{WX}$ 及び走査方向(すなわち、Y方向)に関するウエハステージの速度指令値 $V_{WY}$ を出力する移動速度発生器50と、この移動速度発生器50からの速度指令値 $V_{WX}$ に基づいてウエハステージ44のX方向速度を制御するウエハステージ速度制御系52Xと、移動速度発生器50からの速度指令値 $V_{WY}$ 、これを $1/\beta$ 倍(ここでは4倍)した速度指令値 $V_R$ にそれぞれ基づいてウエハステージ44、レチクル粗動ステージ34の速度をそれぞれ制御するウエハステージ速度制御系52Y、レチクル粗動ステージ速度制御系54と、ウエハステージ44の位置を4倍した位置情報に基づいてレチクル微動ステージ36の位置(及び速度)を制御するレチクル微動ステージ制御系56とを備えている。ここで、ウエハステージ速度制御系52X、ウエハステージ速度制御系52Y、及びレチクル粗動ステージ速度制御系54から制御系が構成される。

【0038】これを更に詳述すると、ウエハステージ速度制御系52Xは、速度指令値 $V_{WX}$ と後述する積分回路62Xの出力をゲイン $K_{RWX}$ 倍したウエハステージ44のX方向の速度との差であるX方向速度偏差を演算する減算器58Xと、この減算器58XからのX方向速度偏差を動作信号として(比例+積分)制御動作を行なうPIコントローラ(伝達関数 $G_3(s)$ で表示)60Xと、このPIコントローラ60Xからの推力により駆動されるウエハステージ44のX方向の加速度を積分する前記第1の積分回路62Xとを含んで構成されている。ここで、実際には、ウエハステージ44のX方向位置は、ウエハレーザ干渉計48Xによって計測されており、このウエハレーザ干渉計48Xの計測値を微分することによりウエハステージ44のX方向速度が求められるのであって、ウエハステージ44のX方向の加速度が直接的に計測され、これを積分してウエハステージ44のX方向の速度が求められるのではないが、説明の便宜上及び制御ブロック図の書き方の慣習に従って図2のよ

うに示されているものである。従って、第1の積分回路62X及びこの出力を積分する第2の積分回路64Xは実際には存在しないものである。

【0039】前記ウエハステージ速度制御系52Yは、ウエハステージ速度制御系52Xと同様に構成される。すなわち、ウエハステージ速度制御系52Yは、速度指令値 $V_{wy}$ と後述する積分回路62Yの出力をゲイン $K_{RWY}$ 倍したウエハステージ44のY方向の速度との差であるY方向速度偏差を演算する減算器58Yと、この減算器58YからのY方向速度偏差を動作信号として（比例+積分）制御動作を行なうPIコントローラ（伝達関数 $G_2$ （s）で表示）60Yと、このPIコントローラ60Yからの推力により駆動されるウエハステージ44のY方向の加速度を積分する前記積分回路62Yとを含んで構成されている。ここで、実際には、ウエハステージ44のY方向の位置は、ウエハレーザ干渉計48Yによって計測されており、このウエハレーザ干渉計48Yの計測値を微分することによりウエハステージ44のY方向の速度が求められるのであって、ウエハステージ44のY方向の加速度が直接的に計測され、これを積分してウエハステージ44のY方向の速度が求められるのではないが、説明の便宜上及び制御ブロック図の書き方の慣習に従って図2のように示されているものである。従って、積分回路62Y及びこの出力を積分する積分回路64Yは実際には存在しないものである。

【0040】前記レチクル粗動ステージ速度制御系54は、レチクル粗動ステージ34の速度指令値 $V_R$ と後述する積分回路70の出力をゲイン $K_{RR}$ 倍したレチクル粗動ステージ34の速度との差である速度偏差を演算する減算器66と、この減算器66からの速度偏差を動作信号として（比例+積分）制御動作を行なうPIコントローラ（伝達関数 $G_1$ （s）で表示）68と、このPIコントローラ68からの推力により駆動されるレチクル粗動ステージ34の加速度を積分する前記積分回路70とを含んで構成されている。

【0041】また、前記レチクル微動ステージ制御系56は、積分回路64Yの出力であるウエハステージ44のY方向の位置情報（ウエハ干渉計48Yの計測値に相当）に基づいて、同期位置発生器65が出力したY方向位置情報を目標位置として入力し、この目標位置と後述する加算器78の出力であるレチクル微動ステージ36の位置情報（レチクル干渉計40の出力に相当）との差である位置偏差を算出する減算器74と、この減算器74の出力である位置偏差を位置ループのゲイン $K_p$ 倍した電圧を入力し、対応する速度情報に変換する速度ループの応答ゲイン $K_v$ と、この速度ループの応答ゲイン $K_v$ を経て出力される速度情報を積分して位置情報（レチクル粗動ステージ34上の基準点からのレチクル微動ステージ36の相対位置情報）に変換する積分回路76と、この積分回路76の出力である位置情報と、前述し

た積分回路70の出力を積分した積分回路72の出力であるレチクル粗動ステージ34の位置情報とを加算した位置情報を演算する加算器78とを含んで構成されている。ここで、速度ループの応答ゲイン $K_v$ は、実際にはレチクル微動ステージ36も含む速度ループの応答ゲインであって、1V（ボルト）の入力によりレチクル微動ステージ36が何mm/secで走るかをゲイン $K_v$ として示したもので、実際には前述したレチクル粗動ステージ速度制御系54と同様の速度ループから構成されるが、速度ループの応答ゲイン $K_v$ としても大きな誤差が生じないので簡単のため、このような形で示されている。

【0042】また、ここで、実際には、レチクル微動ステージ36は、レチクル粗動ステージ34上を移動するので、積分回路72の出力であるレチクル粗動ステージ34の位置情報が加算器78に入力され、この位置情報と積分回路76の出力であるレチクル粗動ステージ34上の基準点からのレチクル微動ステージ36の相対位置情報とが加算されている。従って、加算器78の出力がレチクル干渉計40の出力に相当する。すなわち、実際にはレチクル粗動ステージ34の位置及び速度は直接的に計測されておらず、レチクル微動ステージ36の位置がレチクルレーザ干渉計38によって計測されているのみであるが、説明の便宜上及び制御ブロック図の書き方の慣習に従って図2のように示されているものである。従って、積分回路70、この出力を積分する積分回路72、及び積分回路76は実際には存在しないものである。

【0043】上述のような構成により、移動速度発生器50から出力された速度指令値 $V_{wx}$ を目標値として、ウエハステージ速度制御系50Xがウエハステージ44のX方向速度を制御し、移動速度発生器50から出力された速度指令値 $V_{wy}$ を目標値として、ウエハステージ速度制御系50Yがウエハステージ44のY方向速度を制御することにより、ウエハステージ44の移動が制御される。

【0044】また、移動速度発生器50から出力された速度指令値 $V_{wy}$ の4倍（速度方向は逆である）を目標値として、レチクル粗動ステージ速度制御系により、レチクル粗動ステージ34が制御される。さらに、ウエハレーザ干渉計48によって計測されたウエハステージ44の位置情報と、前述のレチクル粗動ステージ34の位置情報とに基づいてレチクル微動ステージ36の位置制御が行われる。

【0045】次に、本実施形態におけるステージ制御の原理について、図3及び図4を参照して説明する。まず、Y方向に関するステージ制御について説明する。

【0046】このY方向に関するステージ制御にあたって、時間 $t$ の関数として、第1の時刻としての加速開始時刻 $t_s$ （ $=t_{10}$ ）から第6の時刻としての加速終了時

刻  $t_E (=t_{14})$  までの間のY位置  $Y(t)$ 、Y方向速度  $V_Y(t)$ 、Y方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、及びY方向ジ

$$\begin{aligned} J_Y(t) &= d(\alpha_Y(t)) / dt = d^2(V_Y(t)) / dt^2 \\ &= d^3(Y(t)) / dt^3 \quad \dots (1) \end{aligned}$$

という関係が成り立っている。

【0047】まず、加速開始時刻  $t_{10}$  から加速終了時刻  $t_{14}$  までの間において、ジャーク  $J_Y(t)$  が0から増加する期間として、加速開始時刻  $t_{10}$  から第2の時刻としての時刻  $t_{11}$  までの期間を、ジャーク  $J_Y(t)$  が0まで減少する期間として、時刻  $t_{11}$  から第3の時刻としての時刻  $t_{12}$  までの期間を、ジャーク  $J_Y(t)$  が0か

$$\begin{aligned} J_{LY}(t) &= a_{11}t + b_{11} \\ J_{LY}(t) &= a_{12}t + b_{12} \\ J_{LY}(t) &= a_{13}t + b_{13} \\ J_{LY}(t) &= a_{14}t + b_{14} \end{aligned}$$

に設定する。ここで、 $a_{11}$ 、 $a_{12}$ 、 $a_{13}$ 、 $a_{14}$ 、 $b_{11}$ 、 $b_{12}$ 、 $b_{13}$ 、 $b_{14}$  は定数である。

$$(t_{12} - t_{10}) < (t_{14} - t_{12}) \quad \dots (6)$$

としている。これは、加速終了前の加速度の減少期間、すなわちジャークが負の値となっている時刻  $t_{12}$  から時刻  $t_{14}$  までの時間を十分に確保し、加速終了直前のジャークの時間変化を緩やかなものすることにより、ステーションに発生する高周波振動の発生を抑制するためである。

$$\alpha_{LY}(t) = (a_{11}/2)t^2 + b_{11}t + c_{11} \quad (t_{10} \leq t \leq t_{11}) \quad \dots (7)$$

$$\alpha_{LY}(t) = (a_{12}/2)t^2 + b_{12}t + c_{12} \quad (t_{11} \leq t \leq t_{12}) \quad \dots (8)$$

$$\alpha_{LY}(t) = (a_{13}/2)t^2 + b_{13}t + c_{13} \quad (t_{12} \leq t \leq t_{13}) \quad \dots (9)$$

$$\alpha_{LY}(t) = (a_{14}/2)t^2 + b_{14}t + c_{14} \quad (t_{13} \leq t \leq t_{14}) \quad \dots (10)$$

となる(図3(B)参照)。ここで、 $c_{11}$ 、 $c_{12}$ 、 $c_{13}$ 、 $c_{14}$  は積分定数である。

$$V_{LY}(t) = (a_{11}/6)t^3 + (b_{11}/2)t^2 + c_{11}t + d_{11} \quad (t_{10} \leq t \leq t_{11}) \quad \dots (11)$$

$$V_{LY}(t) = (a_{12}/6)t^3 + (b_{12}/2)t^2 + c_{12}t + d_{12} \quad (t_{11} \leq t \leq t_{12}) \quad \dots (12)$$

$$V_{LY}(t) = (a_{13}/6)t^3 + (b_{13}/2)t^2 + c_{13}t + d_{13} \quad (t_{12} \leq t \leq t_{13}) \quad \dots (13)$$

$$V_{LY}(t) = (a_{14}/6)t^3 + (b_{14}/2)t^2 + c_{14}t + d_{14} \quad (t_{13} \leq t \leq t_{14}) \quad \dots (14)$$

となる(図3(C)参照)。ここで、 $d_{11}$ 、 $d_{12}$ 、 $d_{13}$ 、 $d_{14}$  は積分定数である。

$$Y_L(t) = (a_{11}/24)t^4 + (b_{11}/6)t^3 + (c_{11}/2)t^2 + d_{11}t + e_{11} \quad (t_{10} \leq t \leq t_{11}) \quad \dots (15)$$

$$Y_L(t) = (a_{12}/24)t^4 + (b_{12}/6)t^3 + (c_{12}/2)t^2 + d_{12}t + e_{12} \quad (t_{11} \leq t \leq t_{12}) \quad \dots (16)$$

$$Y_L(t) = (a_{13}/24)t^4 + (b_{13}/6)t^3 + (c_{13}/2)t^2 + d_{13}t + e_{13} \quad (t_{12} \leq t \leq t_{13}) \quad \dots (17)$$

$$Y_L(t) = (a_{14}/24)t^4 + (b_{14}/6)t^3 + (c_{14}/2)t^2$$

ャーク  $J_Y(t)$  を考える。ここで、これらの間には、

ら減少する期間として、第4の時刻としての時刻  $t_{12}$  から第5の時刻としての時刻  $t_{13}$  までの期間を、また、ジャーク  $J_Y(t)$  が0まで増加する期間として、時刻  $t_{13}$  から時刻  $t_{14}$  までの期間を設定する。そして、各期間におけるジャーク  $J_Y(t)$  を時間  $t$  の1次関数  $J_{LY}(t)$  に設定する。

【0048】すなわち、図3(A)に示されるように、

$$(t_{10} \leq t \leq t_{11}) \quad \dots (2)$$

$$(t_{11} \leq t \leq t_{12}) \quad \dots (3)$$

$$(t_{12} \leq t \leq t_{13}) \quad \dots (4)$$

$$(t_{13} \leq t \leq t_{14}) \quad \dots (5)$$

【0049】本実施形態においては、

$$\dots (6)$$

【0050】上記の(2)～(5)式に基づいて、順次積分することにより、各時刻における加速度  $\alpha_{LY}(t)$ 、速度  $V_{LY}(t)$ 、及び位置  $Y_L(t)$  を求めると、以下のようになる。

【0051】すなわち、加速度  $\alpha_{LY}(t)$  は、

【0052】また、速度  $V_{LY}(t)$  は、

【0053】また、位置  $Y_L(t)$  は、



となる (図3 (D) 参照)。ここで、 $e_{11}$ 、 $e_{12}$ 、 $e_{13}$ 、 $e_{14}$ は積分定数である。

【0054】こうして、求められた (2) ~ (5) 式及び (7) ~ (18) 式の20個の係数  $a_{1i}$ 、 $b_{1i}$ 、 $c_{1i}$ 、 $d_{1i}$ 、 $e_{1i}$  ( $i=1\sim4$ ) を、以下の20個の境界条件から決定する (図3参照)。

① (2) ~ (5) 式において、ジャーク  $J_{LY}(t)$  が、時刻  $t_{11}$ 、 $t_{12}$ 、 $t_{13}$  で連続となること (境界条件3個)。特に、 $J_{LY}(t_{12}) = 0$  [ $m/s^3$ ] であること。

② (7) ~ (10) 式において、加速度  $\alpha_{LY}(t)$  が、

$$\begin{aligned} J_{LY}(t_{10}) &= J_{LY}(t_{14}) = 0 \text{ [m/s}^3\text{]}, \\ \alpha_{LY}(t_{10}) &= \alpha_{LY}(t_{14}) = 0 \text{ [m/s}^2\text{]} \end{aligned} \quad \dots (19)$$

となること (境界条件4個)。

③ 加速前の速度、すなわち時刻  $t_{10}$  における速度を  $V_{10}$

$$\begin{aligned} V_{LY}(t_{10}) &= V_{10} \text{ [m/s]}, \\ V_{LY}(t_{14}) &= V_{w0} \text{ [m/s]} \end{aligned} \quad \dots (20)$$

であること (境界条件2個)。

④ 加速開始時の  $Y_L$  位置を  $Y_{10}$  とし、加速終了時の  $Y_L$

$$Y_L(t_{10}) = Y_{10} \text{ [m]}, \quad Y_L(t_{14}) = Y_{14} \text{ [m]} \quad \dots (21)$$

であること (境界条件2個)。

【0055】以上のようにして、Y方向に加速されていない状態で初期Y位置 ( $=Y_{10}$ ) 及び初期Y方向速度 ( $=V_{10}$ ) にあるウエハステージ44を、Y方向ジャーク  $J_Y(t)$  を時間的に連続変化させつつ、所望の時刻 ( $=t_{14}$ ) に所望のY位置 ( $=Y_{14}$ ) で所望のY方向速度 ( $=V_{w0}$ ) とする、Y方向ジャーク  $J_Y(t)$ 、Y方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、Y方向速度  $V_Y(t)$ 、及びY位置  $Y(t)$  の一例が求まる。

【0056】次に、図4に示されるような、時刻  $t_{10}$  から時刻  $t_{12}$  までのジャーク及び時刻  $t_{12}$  から時刻  $t_{14}$  までのジャークを、時間を変数とした場合に微分可能なよ

$$\begin{aligned} J_Y(t_{10}) &= J_{LY}(t_{10}) = 0 \text{ [m/s}^3\text{]}, \\ \alpha_Y(t_{10}) &= \alpha_{LY}(t_{10}) = 0 \text{ [m/s}^2\text{]}, \\ V_Y(t_{10}) &= V_{LY}(t_{10}) = V_{10} \text{ [m/s]}, \\ Y(t_{10}) &= Y(t_{10}) = Y_{10} \text{ [m]} \end{aligned} \quad \dots (22)$$

及び、時刻  $t_{12}$  における、

$$\begin{aligned} J_Y(t_{12}) &= J_{LY}(t_{12}) = 0 \text{ [m/s}^3\text{]}, \\ \alpha_Y(t_{12}) &= \alpha_{LY}(t_{12}) = \alpha_{12} \text{ [m/s}^2\text{]}, \\ V_Y(t_{12}) &= V_{LY}(t_{12}) = V_{12} \text{ [m/s]}, \\ Y(t_{12}) &= Y(t_{12}) = Y_{12} \text{ [m]} \end{aligned} \quad \dots (23)$$

の計8個である。

【0057】したがって、Y位置  $Y(t)$  を係数が8個

$$\begin{aligned} Y(t) &= A_{17}t^7 + A_{16}t^6 + A_{15}t^5 + A_{14}t^4 + A_{13}t^3 \\ &\quad + A_{12}t^2 + A_{11}t + A_{10} \end{aligned} \quad \dots (24)$$

とすることにより、(22) 式及び (23) 式を満足するY方向ジャーク  $J_Y(t)$ 、Y方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、Y方向速度  $V_Y(t)$ 、及びY位置  $Y(t)$

$$V_Y(t) = d(Y(t)) / dt$$

$$(t_{13} \leq t \leq t_{14}) \quad \dots (18)$$

時刻  $t_{11}$ 、 $t_{12}$ 、 $t_{13}$  で連続となること (境界条件3個)。

③ (11) ~ (14) 式において、速度  $V_{LY}(t)$  が、時刻  $t_{11}$ 、 $t_{12}$ 、 $t_{13}$  で連続となること (境界条件3個)。

④ (15) ~ (18) 式において、位置  $Y_L(t)$  が、時刻  $t_{11}$ 、 $t_{12}$ 、 $t_{13}$  で連続となること (境界条件3個)。

⑤ 時刻  $t_{10}$  の時点では加速は行われておらず、時刻  $t_{10}$  で加速を開始して時刻  $t_{14}$  で加速を終了し、以後は加速を行わないことから、

とし、加速後の目標速度、すなわち時刻  $t_{14}$  における速度を  $V_{w0}$  [ $m/s$ ] として、

位置を  $Y_{14}$  として、

$$(t_{13} \leq t \leq t_{14}) \quad \dots (21)$$

うに滑らかな変化させつつ、Y方向に加速されていない状態で初期Y位置 ( $=Y_{10}$ ) 及び初期Y方向速度 ( $=V_{10}$ ) にあるステージを、Y方向ジャーク  $J_Y(t)$  を時間的に連続変化させつつ、所望の時刻 ( $=t_{14}$ ) に所望のY位置 ( $=Y_{14}$ ) で所望のY方向速度 ( $=V_{w0}$ ) とする、Y方向ジャーク  $J_Y(t)$ 、Y方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、Y方向速度  $V_Y(t)$ 、及びY位置  $Y(t)$  を求める。このとき、時刻  $t_{10}$  から時刻  $t_{12}$  までの期間における、Y方向ジャーク  $J_Y(t)$ 、Y方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、Y方向速度  $V_Y(t)$ 、及びY位置  $Y(t)$  が満足すべき境界条件は、時刻  $t_{10}$  における、

となる7次関数、すなわち、

を決定することができる。

【0058】すなわち、(24) 式で表されるY位置  $Y(t)$  を順次微分して、

$$= 7 A_{17} t^6 + 6 A_{16} t^5 + 5 A_{15} t^4 + 4 A_{14} t^3 + 3 A_{13} t^2 + 2 A_{12} t + A_{11} \quad \dots (25)$$

$$\alpha_Y(t) = d(V_Y(t)) / dt = 42 A_{17} t^5 + 30 A_{16} t^4 + 20 A_{15} t^3 + 12 A_{14} t^2 + 6 A_{13} t + 2 A_{12} \quad \dots (26)$$

$$J_Y(t) = d(\alpha_Y(t)) / dt = 210 A_{17} t^4 + 120 A_{16} t^3 + 60 A_{15} t^2 + 24 A_{14} t + 6 A_{13} \quad \dots (27)$$

を求め、(24)～(27)式において、(22)式及び(23)式を満足する係数 $A_{10} \sim A_{17}$ を決定することにより、時刻 $t_{10}$ から時刻 $t_{12}$ までのY方向ジャーク $J_Y(t)$ 、Y方向加速度 $\alpha_Y(t)$ 、Y方向速度 $V_Y(t)$ 、及びY位置 $Y(t)$ を決定することができる。

$$\begin{aligned} J_Y(t_{14}) &= J_{LY}(t_{14}) = 0 \text{ [m/s}^3\text{]}, \\ \alpha_Y(t_{14}) &= \alpha_{LY}(t_{14}) = 0 \text{ [m/s}^2\text{]}, \\ V_Y(t_{14}) &= V_{LY}(t_{14}) = V_{w0} \text{ [m/s]}, \\ Y(t_{14}) &= Y(t_{14}) = Y_{14} \text{ [m]} \end{aligned} \quad \dots (28)$$

の計8個である。

【0060】したがって、Y位置 $Y(t)$ を係数が8個

$$Y(t) = B_{17} t^7 + B_{16} t^6 + B_{15} t^5 + B_{14} t^4 + B_{13} t^3 + B_{12} t^2 + B_{11} t + B_{10} \quad \dots (29)$$

とし、上記と同様にして係数 $B_{10} \sim B_{17}$ を決定することにより、(23)式及び(28)式を満足するY方向ジャーク $J_Y(t)$ 、Y方向加速度 $\alpha_Y(t)$ 、Y方向速度 $V_Y(t)$ 、及びY位置 $Y(t)$ を決定することができる。

【0061】こうして求めた、Y方向に関するステージの制御にあたって必要な各物理量に基づいてステージのY方向の移動を制御することにより、ジャークの時間変化を連続的とするとともに、ジャークが正の期間及びジャークが負の期間のそれぞれにおいてジャークの時間変化を時間微分可能としているので、加速終了時におけるステージの高周波振動を抑制することができる。この結果、加速終了時点から確保すべき整定時間を短くすることができる。

【0062】また、X方向に関するステージ制御について必要な各物理量も、上記のY方向のステージ制御と同様にして、求めることができる。そして、求められたX方向に関するステージ制御について必要な各物理量に基づいて、ステージのX方向の移動を制御することにより、ジャークの時間変化を連続的とするとともに、ジャークが正の期間及びジャークが負の期間のそれぞれにおいてジャークの時間変化を時間微分可能としているので、加速終了時におけるステージの高周波振動を抑制することができる。この結果、加速終了時点から確保すべき整定時間を短くすることができる。

【0063】次に、以上で説明したステージ制御の原理を使用した、本実施形態の走査型露光装置10における、レチクル側ステージ14及びウエハ側ステージの制

【0059】また、時刻 $t_{12}$ から時刻 $t_{14}$ までの期間における、Y方向ジャーク $J_Y(t)$ 、Y方向加速度 $\alpha_Y(t)$ 、Y方向速度 $V_Y(t)$ 、及びY位置 $Y(t)$ が満足すべき境界条件は、時刻 $t_{12}$ における(23)式、及び、

となる7次関数、すなわち、

御について、図5及び図6を参照して説明する。

【0064】ここでは、ウエハステージ44及びレチクル粗動ステージ34が、図5に示されるような時刻 $t$ に対応した目標軌道(目標位置の時間的変化)をとり、結果として図6に示されるような露光領域Efの中心(投影光学系PLの光軸)の軌道Lで、ウエハW上のショット領域S1、S2、S3が走査露光される場合を例として説明する。なお、実際には露光領域Efは静止し、ウエハステージ44(ウエハ)が移動することによって走査が行われるが、図6では便宜上ウエハが静止し、露光領域の中心が移動するものとして示している。また、図5(A)～(C)において、横軸は時間、縦軸は目標位置を示す。また、図5(A)～(C)において、時間 $T_0$ は露光対象ショットの走査露光における加速時間を示し、 $T_1$ は整定時間を示し、 $T_2$ は露光時間を示し、 $T_3$ はあるショットの露光が終了してから次ショットの露光の際に走査速度までの加速が終了するまでの各ステージの移動時間を示す。

【0065】前提として、ウエハステージ44に載置された不図示の基準板上の基準マークと不図示のレチクル顕微鏡とを用いたレチクルRのアライメント等の準備段階の処理は終了し、また、露光領域Efが、図6に示される初期位置O、すなわち第1番目のショット領域S1の助走開始位置(走査開始位置)に位置しているものとする。

【0066】この状態で、前記移動速度発生器50は、前述のようにして求めた時間 $T_0$ の期間、すなわち第1番目のショット領域S1の走査露光のための加速期間に

おける、速度指令値  $V_{wx}(t)$  ( $=0$  [m/s]) 及び速度指令値  $V_{wy}(t)$  を出力する。この速度指令値  $V_{wy}(t)$  は、次に様にして決定される。

【0067】第1番目のショット領域  $S_1$  に関する走査露光の期間 (時間  $T_2$  の期間) では、図5(B)に示されるように、Y方向速度  $V_Y(t)$  を  $V_{w0}$  [m/s] とする必要があるため、ウエハステージ44のY方向速度  $V_Y(t)$  を  $0$  [m/s] から  $V_{w0}(t)$  へ加速する。

$$\begin{aligned} L_Y(t_{10}) &= L_{Y0}, L_Y(t_{14}) (= t_{10} + T_0) = L_{Y1S}, \\ V_Y(t_{10}) &= 0, V_Y(t_{14}) = V_{w0} \quad \dots (30) \end{aligned}$$

とすることにより、前述のステージ制御の原理を適用することができる。

【0068】こうして得られた物理量の内のY方向速度  $V_Y(t)$  を前述の図2の移動速度発生器50が  $V_{wy}(t)$  として発生し、これに応じて、前述の図2のウエハステージ速度制御系52Yは、図5(B)の目標軌道  $L_Y(t)$  をとるようにウエハステージ44を+Y方

$$V_{RC}(t) = -4V_Y(t)$$

という関係がある。したがって、前述の図2に示されるように、移動速度発生器50が発生した  $V_{wy}(t)$  を4倍して目標速度  $V_R(t)$  としてとともに、(31)式における正負関係をPIコントローラ60Yと帰還係数  $K_{RR}$  とで吸収し、これに基づいて主制御系18がレチクル粗動ステージ34のY方向への移動を制御することにより、図5(C)に示される目標位置  $L_{RC}(t)$  の移動軌道でレチクル粗動ステージ34が加速駆動される。

【0070】また、レチクル微動ステージ制御系56は、ウエハステージ速度制御系52Yによるウエハステージ44の加速駆動と、レチクル粗動ステージ制御系54によるレチクル粗動ステージ34の加速駆動との同期ずれを補正するようにレチクル微動ステージ36を駆動する。

【0071】こうして、時間  $T_0$  の期間の終了時において、ウエハステージ44は、その加速終了位置 ( $= (L_{x0}, L_{Y1S})$ ) 及びその加速終了速度 ( $= (0, V_{w0})$ ) となる。また、レチクル微動ステージ36は、その加速終了位置 ( $= L_{RC1S}$ ) 及びその加速終了速度 ( $= V_{R0} = -4V_{w0}$ ) となる。

【0072】次に、前記移動速度発生器50は、時間  $T_1$  の期間、すなわち整定期間における速度指令値  $V_{wx}(t)$  ( $=0$  [m/s])、及び速度指令値  $V_{wy}(t)$  ( $=V_{w0}$  [m/s]) を出力する。これに応じて、ウエハステージ44とレチクル微動ステージ36とが等速同期移動される。この整定期間において、ウエハステージ44及びレチクル粗動ステージ34に起因してレチクル微動ステージ36に発生している振動の低減が図られる。こうして、時間  $T_1$  の期間の終了時において、ウエハステージ44は、その終了位置 ( $= (L_{x0}, L_{Y1T})$ ) に至る。また、レチクル微動ステージ36は、その終了位置 ( $= L_{RC1T}$ ) に至る。これらの終了

すなわち、時間  $T_0$  の期間は、+Y方向への加速期間となる。この+Y方向への加速期間における加速について、前述のステージ制御の原理に基づいて、Y方向に関するステージ制御において制御対象となる各物理量を求める。この期間への前述のステージ制御の原理の適用にあたっては、前述の境界条件①～⑤は同様であるが、⑥及び⑦の境界条件に代えて、

向へ加速駆動する。

【0069】一方、このときのレチクル粗動ステージ34のY方向の目標軌道は、図5(C)に示される  $L_{RC}(t)$  であるが、レチクル粗動ステージ34の目標Y方向速度  $V_{RC}(t)$  は、ウエハステージ44の目標Y方向速度  $V_Y(t)$  と、

$$\dots (31)$$

位置が、図5及び図6において位置  $S_{1a}$  として示されている。

【0073】以上のような露光領域  $E_f$  の中心が点Oからショット領域  $S_1$  の露光開始直前の位置  $S_{1a}$  の間にあるときは、照明系12の露光用の照明光  $IL$  がレチクルR上の照明領域を照明しないようになっており、ウエハW上のレジストの焼き付けは行われなくなっている。

【0074】引き続き、前記移動速度発生器50は、時間  $T_2$  の期間、すなわち走査露光期間における速度指令値  $V_{wx}(t)$  ( $=0$  [m/s])、及び速度指令値  $V_{wy}(t)$  ( $=V_{w0}$  [m/s]) を出力する。これに応じて、ウエハステージ44とレチクル微動ステージ36とが等速同期移動される。この走査露光期間が開始し、露光領域  $E_f$  の中心が更に軌道  $L$  に沿って進み、ショット領域  $S_1$  に掛かった時点から照明系12からの照明光  $EL$  によりレチクルR上の照明領域が照明され、レチクルRのパターンの露光が開始する。この走査露光中、ウエハステージ44とレチクル微動ステージ36はY方向を相互に反対向きに所定の速度比で等速同期移動し、露光領域の中心がショット領域  $S_1$  の外部の点  $S_{1b}$  に来るまで、すなわち時間  $T_2$  の期間 (走査露光期間) の終了時点まで、レチクルR上の照明領域内のパターンが逐次ウエハW上のレジストに投影露光される。このような走査露光により、レチクルR上のパターンの全体がウエハW上のショット領域  $S_1$  に縮小転写される。そして、走査露光期間が終了すると、照明系12の露光用の照明光  $IL$  がレチクルR上の照明領域を照明しないよう設定される。

【0075】次に、前記移動速度発生器50は、前述のようにして求めた時間  $T_3$  の期間、すなわち第2番目のショット領域のためのステッピング及び加速期間にお

る速度指令値 $V_{wx}(t)$ 及び速度指令値 $V_{wy}(t)$ 出力する。これらの速度指令値 $V_{wx}(t)$ 及び速度指令値 $V_{wy}(t)$ は、次のようにして求められる。

【0076】まず、速度指令値 $V_{wx}(t)$ の求め方を説明する。第1番目のショット領域に関する走査露光が終了すると、図5(A)の時間 $T_3$ の期間において、X方向(非走査方向)についてステップ距離 $\beta_x$ だけ移動する。このX方向への移動では、X方向への移動開始時のX方向速度 $V_x(t)$ が0[m/s]であり、かつ、X方向への移動終了時のX方向速度 $V_x(t)$ が0[m/s]である必要があるため、時間 $T_3$ の期間には図5(A)に示されるように、まず加速期間 $T_a$ を設定し、その後に減速期間 $T_d$ を設定する必要がある。なお、図5(A)では、加速期間 $T_a$ の終了の後すぐに減速期間 $T_d$ が開始することとしているが、加速期間 $T_a$ と減速期間 $T_d$ との間を空けることも可能である。

【0077】そして、少なくとも減速期間 $T_d$ について、前述のステージ制御の原理に基づいて、X方向に関

$$\begin{aligned} L_x(t_{10}) &= L_{x10}, & L_x(t_{14}(=t_{10}+T_d)) &= L_{x0} + \beta_x, \\ V_x(t_{10}) &= V_{x10}, & V_x(t_{14}) &= 0 \end{aligned} \quad \dots (32)$$

を境界条件として使用する。なお、定数 $L_{x10}$ 、 $V_{x10}$ は、上述の加速期間 $T_a$ の加速状態によって定まる。

【0080】また、加速期間 $T_a$ への前述のステージ制

$$\begin{aligned} L_x(t_{10}) &= L_{x0}, & L_x(t_{14}(=t_{10}+T_a)) &= L_{x10}, \\ V_x(t_{10}) &= 0, & V_x(t_{14}) &= V_{x10} \end{aligned} \quad \dots (33)$$

を境界条件として使用する。

【0081】こうして得られた物理量の内、X方向速度 $V_x(t)$ を前述の図2の移動速度発生器50が速度指令値 $V_{wx}(t)$ として発生する。

【0082】次に、速度指令値 $V_{wy}(t)$ の求め方を説明する。第1番目のショット領域に関する走査露光が終了が終了すると、図5(B)に示されるように、時間 $T_3$ の期間において、Y方向(走査方向)についての移動が行われる。このY方向への移動では、Y方向への移動開始時のY方向速度 $V_y(t)$ が $V_{w0}$ [m/s](すなわち、第1番目のショット領域に関する走査露光時におけるウエハステージ44の移動速度)であり、かつ、Y

$$\begin{aligned} L_y(t_{10}) &= L_{y1E}, & L_y(t_{14}(=t_{10}+T_3)) &= L_{y2S}, \\ V_y(t_{10}) &= V_{w0}, & V_y(t_{14}) &= -V_{w0} \end{aligned} \quad \dots (32)$$

ここで、 $L_{y1E}$ ：第1番目のショット領域の走査露光の終了Y位置

$L_{y2S}$ ：第2番目のショット領域の走査露光のための等速移動開始Y位置

を境界条件として使用する。

【0084】こうして得られた物理量の内、Y方向速度 $V_y(t)$ を移動速度発生器50が速度指令値 $V_{wy}(t)$ として発生する。

【0085】こうして移動速度発生器50が発生した速度指令値 $V_{wx}(t)$ 及び速度指令値 $V_{wy}(t)$ に応じ、前述の図2のウエハステージ速度制御系52Xは、

するステージ制御において制御対象となる各物理量を求める。ここで、少なくとも減速期間 $T_d$ について、前述のステージ制御の原理を適用するのは、次の理由による。すなわち、ウエハステージ44の高周波振動が問題になるのは、時間 $T_3$ の期間経過後の時間 $T_2$ の期間で実行される走査露光時であり、この時間 $T_2$ 以前においてウエハステージ44に高周波振動が発生する可能性があり、かつ、最も時間 $T_2$ の期間に近いのが、減速期間 $T_d$ だからである。

【0078】なお、加速期間 $T_a$ についても前述のステージ制御の原理を適用することは勿論可能である。この場合には、減速期間 $T_d$ にのみ適用した場合に比べて、時間 $T_3$ の期間の終了時においてウエハステージ44に発生している高周波振動を更に低減することができる。

【0079】減速期間 $T_d$ への前述のステージ制御の原理の適用にあたっては、前述の境界条件①～⑤は同様であるが、⑥及び⑦の境界条件に代えて、

御の原理の適用を行う場合には、前述の境界条件①～⑤は同様であるが、⑥及び⑦の境界条件に代えて、

方向への移動終了時のY方向速度 $V_y(t)$ が $-V_{w0}$ [m/s](すなわち、第2番目のショット領域に関する走査露光時におけるウエハステージ44の移動速度)である必要があるため、時間 $T_3$ の期間は-Y方向への加速期間となる。

【0083】この-Y方向への加速期間における加速について、前述のステージ制御の原理に基づいて、Y方向に関するステージ制御において制御対象となる各物理量を求める。この期間への前述のステージ制御の原理の適用にあたっては、前述の境界条件①～⑤は同様であるが、⑥及び⑦の境界条件に代えて、

図5(A)の目標軌道 $L_x(t)$ をとるようにウエハステージ44をX方向へ加速・減速駆動するとともに、ウエハステージ速度制御系52Yは、図5(B)の目標軌道 $L_y(t)$ をとるようにウエハステージ44を-Y方向へ加速駆動する。また、レチクル粗動ステージ制御系54は、図5(C)の目標軌道 $L_{rc}(t)$ をとるようにレチクル粗動ステージ34を+Y方向へ加速駆動するとともに、レチクル微動ステージ56は、ウエハステージ速度制御系52Yによるウエハステージ44の加速駆動と、レチクル粗動ステージ速度制御系54によるレチクル粗動ステージ34の加速駆動との同期ずれを補正する

ようにレチクル微動ステージ36を駆動する。

【0086】こうして、時間 $T_3$ の期間の終了時において、ウエハステージ44は、その加速終了位置（ $= (L_{x0} + \beta_x, L_{y2s})$ ）及びその加速終了速度（ $= (0, -V_{w0})$ ）となる。また、レチクル微動ステージ36は、その加速終了位置（ $= L_{RC2s}$ ）及びその加速終了速度（ $= V_{R0} = 4 V_{w0}$ ）となる。

【0087】次に、前記移動速度発生器50は、時間 $T_1$ の期間、すなわち整定期間における速度指令値 $V_{wx}(t)$ （ $= 0 [m/s]$ ）、及び速度指令値 $V_{wy}(t)$ （ $= -V_{w0} [m/s]$ ）を出力する。これに応じて、ウエハステージ44とレチクル微動ステージ36とが等速同期移動される。この整定期間において、ウエハステージ44及びレチクル粗動ステージ34に起因してレチクル微動ステージ36に発生している振動の低減が図られる。こうして、時間 $T_1$ の期間の終了時において、ウエハステージ44は、その終了位置（ $= (L_{x0} + \beta_x, L_{y2t} (= L_{y1E}))$ ）に至る。また、レチクル微動ステージ36は、その終了位置（ $= L_{RC2t} (= L_{RC1E})$ ）に至る。これらの終了位置が、図5及び図6において位置 $S2a$ として示されている。

【0088】引き続き、前記移動速度発生器50は、時間 $T_2$ の期間、すなわち走査露光期間における速度指令値 $V_{wx}(t)$ （ $= 0 [m/s]$ ）、及び速度指令値 $V_{wy}(t)$ （ $= -V_{w0} [m/s]$ ）を出力する。これにより、露光領域 $E_f$ 、レチクル微動ステージ36、ウエハステージ44の走査方向がショット領域 $S1$ とは反対向きの状態で（図5（B）、図5（C）、図6参照）、ショット領域 $S1$ と同様の走査露光により、レチクル $R$ 上のパターンがショット領域 $S2$ のレジストに縮小転写される。こうして、露光領域の中心がショット領域 $S1$ の外部の点 $S2b$ に至る。

【0089】この後、各ショット領域のための加速期間（時間 $T_3$ の期間）、整定期間（時間 $T_1$ の期間）、及び走査露光期間（時間 $T_2$ の期間）において、上述の第2番目のショット領域のための場合と同様にして、レチクル粗動ステージ34、レチクル微動ステージ、及びウエハステージ44が移動駆動され、レチクル $R$ 上のパターンが各ショット領域に縮小転写される。

【0090】以上説明したように、本実施形態における露光動作では、前述のように、ジャークの時間変化が連続的であり、かつ、全加速期間においてジャークの時間変化が連続的であり、かつ、ジャークが正の期間及びジャークが負の期間のそれぞれにおいて、ジャークの時間変化が微分可能な滑らかな変化となっているので、ジャークの時間変化に関する高周波成分が低減される。この結果、ステージの加速終了時点におけるステージの高周波振動が抑制されるので、ステージの整定時間（ $T_1$ ）を

$$J_{LY}(t) = a_{21}t + b_{21}$$

$$J_{LY}(t) = a_{22}t + b_{22}$$

短くすることができる。したがって、本実施形態によれば、スループットを向上しつつ高精度の露光が可能となる。

【0091】《第2の実施形態》以下、本発明の第2の実施形態を、図7及び図8に基づいて説明する。本実施形態は、第1の実施形態において、加速期間（前述の図3及び図4における、時刻 $t_{10}$ から時刻 $t_{14}$ までの期間）において、加速方向に関するジャークが正の期間（図3及び図4における、時刻 $t_{10}$ から時刻 $t_{12}$ までの期間）の後、直ちにジャークが負の期間（図3及び図4における、時刻 $t_{12}$ から時刻 $t_{14}$ までの期間）を開始したのに対して、これらの期間の間にジャークが $0 [m/s^3]$ の期間を設けることに特徴を有する。以下、この点を中心に説明する。なお、以下の説明にあたって、同等の要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

【0092】本実施形態の走査型露光装置は、第1の実施形態と同様に、前述の図1に示した走査型露光装置10と同様に構成されるが、主制御系18による、レチクル粗動ステージ34及びウエハステージ44の加速態様が異なる。

【0093】次に、本実施形態におけるステージ制御の原理について説明する。まず、Y方向に関するステージ制御について説明する。

【0094】Y方向に関するステージ制御の説明にあたり、第1の実施形態と同様に、時間 $t$ の関数として、第1の時刻としての加速開始時刻 $t_s (= t_{20})$ から第6の時刻としての加速終了時刻 $t_E (= t_{25})$ までの間のY位置 $Y(t)$ 、Y方向速度 $V_Y(t)$ 、Y方向加速度 $\alpha_Y(t)$ 、及びY方向ジャーク $J_Y(t)$ を考える。

【0095】まず、加速開始時刻 $t_{20}$ から加速終了時刻 $t_{25}$ までの間において、ジャーク $J_Y(t)$ が0から増加する期間として、加速開始時刻 $t_{20}$ から第2の時刻としての時刻 $t_{21}$ までの期間を、ジャーク $J_Y(t)$ が0まで減少する期間として、時刻 $t_{21}$ から第3の時刻としての時刻 $t_{22}$ までの期間を設定する。また、ジャーク $J_Y(t)$ が0の期間として、時刻 $t_{22}$ から第4の時刻としての時刻 $t_{23}$ までの期間を設定する。さらに、ジャーク $J_Y(t)$ が0から減少する期間として、時刻 $t_{23}$ から第5の時刻としての時刻 $t_{24}$ までの期間を、また、ジャーク $J_Y(t)$ が0まで増加する期間として、時刻 $t_{24}$ から時刻 $t_{25}$ までの期間を設定する。そして、ジャーク $J_Y(t)$ を0とする時刻 $t_{22}$ から時刻 $t_{23}$ までの期間を除いた各期間におけるジャーク $J_Y(t)$ を時間 $t$ の1次関数 $J_{LY}(t)$ に設定する。なお、時刻 $t_{22}$ 及び時刻 $t_{23}$ を未知数として設定する。

【0096】すなわち、図7（A）に示されるように、

$$(t_{20} \leq t \leq t_{21}) \quad \cdots (33)$$

$$(t_{21} \leq t \leq t_{22}) \quad \cdots (34)$$

$$J_{LY}(t) = 0 \quad (t_{22} \leq t \leq t_{23}) \quad \dots (35)$$

$$J_{LY}(t) = a_{24}t + b_{24} \quad (t_{23} \leq t \leq t_{24}) \quad \dots (36)$$

$$J_{LY}(t) = a_{25}t + b_{25} \quad (t_{24} \leq t \leq t_{25}) \quad \dots (37)$$

に設定する。ここで、 $a_{21}$ 、 $a_{22}$ 、 $a_{24}$ 、 $a_{25}$ 、 $b_{21}$ 、 $b_{22}$ 、 $b_{24}$ 、 $b_{25}$ は定数である。

$$(t_{22} - t_{20}) < (t_{25} - t_{23}) \quad \dots (38)$$

としている。これは、第1の実施形態と同様に、加速終了前の加速度の減少期間、すなわちジャークが負の値となっている時刻  $t_{23}$  から時刻  $t_{25}$  までの時間を十分に確保し、加速終了直前のジャークの時間変化を緩やかなものすることにより、ステージに発生する高周波振動の発生を抑制するためである。

【0097】本実施形態においては、

【0098】上記の(33)～(37)式に基づいて、順次積分することにより、各時刻における加速度  $\alpha_{LY}(t)$ 、速度  $V_{LY}(t)$ 、及び位置  $Y_L(t)$  を求めると、以下のようになる。

【0099】すなわち、加速度  $\alpha_{LY}(t)$  は、

$$\alpha_{LY}(t) = (a_{21}/2)t^2 + b_{21}t + c_{21} \quad (t_{20} \leq t \leq t_{21}) \quad \dots (39)$$

$$\alpha_{LY}(t) = (a_{22}/2)t^2 + b_{22}t + c_{22} \quad (t_{21} \leq t \leq t_{22}) \quad \dots (40)$$

$$\alpha_{LY}(t) = \alpha_{23} \quad (t_{22} \leq t \leq t_{23}) \quad \dots (41)$$

$$\alpha_{LY}(t) = (a_{24}/2)t^2 + b_{24}t + c_{24} \quad (t_{23} \leq t \leq t_{24}) \quad \dots (42)$$

$$\alpha_{LY}(t) = (a_{25}/2)t^2 + b_{25}t + c_{25} \quad (t_{24} \leq t \leq t_{25}) \quad \dots (43)$$

となる(図7(B)参照)。ここで、 $c_{21}$ 、 $c_{22}$ 、 $c_{24}$ 、 $c_{25}$ は積分定数であり、 $\alpha_{23}$ は最大加速度として

与えられる定数である。

【0100】また、速度  $V_{LY}(t)$  は、

$$V_{LY}(t) = (a_{21}/6)t^3 + (b_{21}/2)t^2 + c_{21}t + d_{21} \quad (t_{20} \leq t \leq t_{21}) \quad \dots (44)$$

$$V_{LY}(t) = (a_{22}/6)t^3 + (b_{22}/2)t^2 + c_{22}t + d_{22} \quad (t_{21} \leq t \leq t_{22}) \quad \dots (45)$$

$$V_{LY}(t) = \alpha_{23}t + d_{23} \quad (t_{22} \leq t \leq t_{23}) \quad \dots (46)$$

$$V_{LY}(t) = (a_{24}/6)t^3 + (b_{24}/2)t^2 + c_{24}t + d_{24} \quad (t_{23} \leq t \leq t_{24}) \quad \dots (47)$$

$$V_{LY}(t) = (a_{25}/6)t^3 + (b_{25}/2)t^2 + c_{25}t + d_{25} \quad (t_{24} \leq t \leq t_{25}) \quad \dots (48)$$

となる(図7(C)参照)。ここで、 $d_{21}$ 、 $d_{22}$ 、 $d_{23}$ 、 $d_{24}$ 、 $d_{25}$ は積分定数である。

【0101】また、位置  $Y_L(t)$  は、

$$Y_L(t) = (a_{21}/24)t^4 + (b_{21}/6)t^3 + (c_{21}/2)t^2 + d_{21}t + e_{21} \quad (t_{20} \leq t \leq t_{21}) \quad \dots (49)$$

$$Y_L(t) = (a_{22}/24)t^4 + (b_{22}/6)t^3 + (c_{22}/2)t^2 + d_{22}t + e_{22} \quad (t_{21} \leq t \leq t_{22}) \quad \dots (50)$$

$$Y_L(t) = (\alpha_{23}/2)t^2 + d_{23}t + e_{23} \quad (t_{22} \leq t \leq t_{23}) \quad \dots (51)$$

$$Y_L(t) = (a_{24}/24)t^4 + (b_{24}/6)t^3 + (c_{24}/2)t^2 + d_{24}t + e_{24} \quad (t_{23} \leq t \leq t_{24}) \quad \dots (52)$$

$$Y_L(t) = (a_{25}/24)t^4 + (b_{25}/6)t^3 + (c_{25}/2)t^2 + d_{25}t + e_{25} \quad (t_{24} \leq t \leq t_{25}) \quad \dots (53)$$

となる(図7(D)参照)。ここで、 $e_{21}$ 、 $e_{22}$ 、 $e_{23}$ 、 $e_{24}$ 、 $e_{25}$ は積分定数である。

知数を、以下の24個の境界条件から決定する。

【0102】こうして、求められた(33)～(37)式及び(39)～(53)式の22個の未知係数  $a_{21}$ 、 $b_{21}$ 、 $c_{21}$ 、( $i=1, 2, 4, 5$ )、 $d_{21}$ 、 $e_{21}$  ( $i=1 \sim 5$ ) 及び時刻  $t_{22}$  及び時刻  $t_{23}$  という24個の未

①(33)～(37)式において、ジャーク  $J_{LY}(t)$  が、時刻  $t_{21}$ 、 $t_{22}$ 、 $t_{23}$ 、 $t_{24}$  で連続となり、特に、 $J_{LY}(t_{22}) = J_{LY}(t_{23}) = 0$  [ $m/s^3$ ] であること(境界条件4個)。

②(39)～(43)式において、加速度  $\alpha_{LY}(t)$

が、時刻  $t_{21}$ 、 $t_{22}$ 、 $t_{23}$ 、 $t_{24}$  で連続となり、特に、 $\alpha_{LY}(t_{22}) = \alpha_{LY}(t_{23}) = \alpha_{23} [m/s^2]$  であること（境界条件 4 個）。

③（44）～（48）式において、速度  $V_{LY}(t)$  が、時刻  $t_{21}$ 、 $t_{22}$ 、 $t_{23}$ 、 $t_{24}$  で連続となること（境界条件 4 個）。

$$\begin{aligned} J_{LY}(t_{20}) &= J_{LY}(t_{25}) = 0 [m/s^3], \\ \alpha_{LY}(t_{20}) &= \alpha_{LY}(t_{25}) = 0 [m/s^2] \end{aligned} \quad \dots (54)$$

となること（境界条件 4 個）。

⑥加速前の速度、すなわち時刻  $t_{20}$  における速度を  $V_{20}$ （図 7（C）においては、 $V_{20} = 0 [m/s]$ ）とし、

$$\begin{aligned} V_{LY}(t_{20}) &= V_{20} [m/s], \\ V_{LY}(t_{25}) &= V_{w0} [m/s] \end{aligned} \quad \dots (55)$$

であること（境界条件 2 個）。

⑦加速開始時の Y 位置を  $Y_{20}$  とし、加速終了時の Y 位置

$$Y_L(t_{20}) = Y_{20} [m], Y_L(t_{25}) = Y_{25} [m] \quad \dots (56)$$

であること（境界条件 2 個）。

【0103】以上のようにして、Y 方向に加速されていない状態で初期 Y 位置（ $= Y_{20}$ ）及び初期 Y 方向速度（ $= V_{20}$ ）にあるステージを、Y 方向ジャーク  $J_Y(t)$  を時間的に連続変化させつつ、所望の時刻（ $= t_{25}$ ）に所望の Y 位置（ $= Y_{24}$ ）で所望の Y 方向速度（ $= V_{w0}$ ）とする、Y 方向ジャーク  $J_Y(t)$ 、Y 方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、Y 方向速度  $V_Y(t)$ 、及び Y 位置  $Y(t)$  の一例が求まる。

【0104】次に、図 8 に示されるような、時刻  $t_{20}$  から時刻  $t_{22}$  までのジャークの時間変化及び時刻  $t_{23}$  から時刻  $t_{25}$  までジャークの時間変化が時間を変数とした場

$$\begin{aligned} Y(t) &= A_{27}t^7 + A_{26}t^6 + A_{25}t^5 + A_{24}t^4 + A_{23}t^3 \\ &\quad + A_{22}t^2 + A_{21}t + A_{20} \end{aligned} \quad \dots (57)$$

とすることにより、境界条件を満足する Y 方向ジャーク  $J_Y(t)$ 、Y 方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、Y 方向速度  $V_Y(t)$ 、及び Y 位置  $Y(t)$  を決定する。また、時刻  $t$

$$\begin{aligned} Y(t) &= B_{27}t^7 + B_{26}t^6 + B_{25}t^5 + B_{24}t^4 + B_{23}t^3 \\ &\quad + B_{22}t^2 + B_{21}t + B_{20} \end{aligned} \quad \dots (58)$$

とすることにより、境界条件を満足する Y 方向ジャーク  $J_Y(t)$ 、Y 方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、Y 方向速度  $V_Y(t)$ 、及び Y 位置  $Y(t)$  を決定する。

【0106】本実施形態では、第 1 の実施形態と同様に、上で説明した本実施形態のステージ制御の原理を使用して、レチクル側ステージ 14 及びウエハ側ステージ 16 を制御する。すなわち、前記移動速度発生器 50 が、前述の図 5 における時間  $T_0$  の期間及び時間  $T_3$  の期間に相当する期間、すなわち加速期間において、本実施形態のステージ制御の原理を適用して求めた速度指令値  $V_{wx}(t)$  及び速度指令値  $V_{wy}(t)$  を出力することにより、レチクル粗動ステージ 34、レチクル微動ステージ 36、及びウエハステージ 44 の移動動作が制御される。

【0107】この結果、第 1 の実施形態と同様に、前述

④（49）～（53）式において、位置  $Y_L(t)$  が、時刻  $t_{21}$ 、 $t_{22}$ 、 $t_{23}$ 、 $t_{24}$  で連続となること（境界条件 4 個）。

⑤時刻  $t_{20}$  以前には加速は行われておらず、時刻  $t_{20}$  で加速を開始して時刻  $t_{25}$  で加速を終了し、以後は加速を行わないことから、

加速後の目標速度、すなわち時刻  $t_{25}$  における速度を  $V_{w0} [m/s]$  として、

を  $Y_{25}$  として、

$$(t_{25}) = Y_{25} [m] \quad \dots (56)$$

合に、微分可能な滑らかな変化をさせつつ、Y 方向に加速されていない状態で初期 Y 位置（ $= Y_{20}$ ）及び初期 Y 方向速度（ $= V_{20}$ ）にあるウエハステージ 44 を、Y 方向ジャーク  $J_Y(t)$  を時間的に連続変化させつつ、所望の時刻（ $= t_{25}$ ）に所望の Y 位置（ $= Y_{25}$ ）で所望の Y 方向速度（ $= V_{w0}$ ）とする、Y 方向ジャーク  $J_Y(t)$ 、Y 方向加速度  $\alpha_Y(t)$ 、Y 方向速度  $V_Y(t)$ 、及び Y 位置  $Y(t)$  を、第 1 の実施形態と同様にして求める。

【0105】すなわち、時刻  $t_{20}$  から時刻  $t_{22}$  までの期間における Y 位置  $Y(t)$  を時間の 7 次関数、

$$\begin{aligned} Y(t) &= A_{27}t^7 + A_{26}t^6 + A_{25}t^5 + A_{24}t^4 + A_{23}t^3 \\ &\quad + A_{22}t^2 + A_{21}t + A_{20} \end{aligned} \quad \dots (57)$$

23 から時刻  $t_{25}$  までの期間における Y 位置  $Y(t)$  を時間の 7 次関数、

$$\begin{aligned} Y(t) &= B_{27}t^7 + B_{26}t^6 + B_{25}t^5 + B_{24}t^4 + B_{23}t^3 \\ &\quad + B_{22}t^2 + B_{21}t + B_{20} \end{aligned} \quad \dots (58)$$

の図 6 と同様の軌道  $L$  を露光領域の中心  $E_f$  が辿りつつ、ウエハ  $W$  上の各ショット領域に関して走査露光が行われ、各ショット領域に順次レチクル  $R$  上のパターンの全体が縮小転写される。

【0108】以上説明したように、本実施形態における露光動作では、第 1 の実施形態と同様に、ジャークの時間変化が連続的であり、かつ、全加速期間においてジャークの時間変化が連続的であり、かつ、ジャークが正の期間及びジャークが負の期間のそれぞれにおいて、ジャークの時間変化が微分可能な滑らかな変化となっているので、ジャークの時間変化に関する高周波成分が低減される。この結果、ステージの加速終了時点におけるステージの高周波振動が更に抑制されるので、ステージの整定時間（ $T_1$ ）を短くすることができる。したがって、本実施形態によれば、スループットを向上しつつ高精度の

露光が可能となる。

【0109】また、本実施形態では、加速方向（前述の図7及び図8における、時刻 $t_{20}$ から時刻 $t_{25}$ までの期間）において、加速方向に関するジャークが正の期間

（図7及び図8における、時刻 $t_{20}$ から時刻 $t_{22}$ までの期間）の後、直ちにジャークが負の期間（図7及び図8における、時刻 $t_{23}$ から時刻 $t_{25}$ までの期間）を開始せずに、これらの期間の間にジャークが0 [ $m/s^3$ ] の期間（図7及び図8における、時刻 $t_{22}$ から時刻 $t_{23}$ までの期間）を設けたので、加速期間中における最大加速度で時刻 $t_{22}$ から時刻 $t_{23}$ までステージが加速される。したがって、第1の実施形態と比べて、一定の期間で目標速度（ $V_{w0}$ ）まで加速するとき、最大加速度を小さく、すなわち、ステージに加える力の最大値を低減することができる。

【0110】上記の実施形態では、ウエハステージの±X方向への加速及び±Y方向への加速の双方ともに、加速期間においてジャークが0 [ $m/s^3$ ] の期間を設ける又は設けない例としたが、一方のジャークが0 [ $m/s^3$ ] の期間を設け、他方にジャークが0 [ $m/s^3$ ] の期間を設けないことも可能である。

【0111】また、上記の実施形態では、加速方向に関するジャークが正の期間及び負の期間において、ジャークの時間変化を微分可能なものとしたが、図3（A）や図7（A）に示されるように、折れ線で示される時間変化を採用することも可能である。これによっても、ジャークの時間変化は連続的となるので、従来と比べて、加速終了時点におけるステージの高周波振動を低減することができる。

【0112】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、請求項1～6に係るステージ制御方法によれば、ステージの加速期間において、ステージの加速度は連続的に変化し、かつ、ステージの加速の終了時点において、加速度及びジャークがほぼ0となる。したがって、ジャークの時間変化について高周波成分が低減され、ステージの振動の発

生が抑制されるので、ステージの加速終了から走査露光の開始までに設けられる振動の減衰時間すなわちステージの整定時間を短く設定することができる。

【0113】また、請求項7に係る走査型露光装置によれば、請求項1～6のいずれかのステージ制御方法によって、ウエハステージ及びレチクルステージの少なくとも一方の加速駆動を制御するので、スループットを向上しつつ高精度の露光が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係る走査型露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の装置におけるステージ制御系の構成を示すブロック図である。

【図3】第1の実施形態におけるステージ制御の原理を説明するための図（その1）である（A～D）。

【図4】第1の実施形態におけるステージ制御の原理を説明するための図（その2）である（A～D）。

【図5】ウエハステージのX方向の目標位置、ウエハステージのY方向の目標位置の一例、及びレチクル粗動ステージのY方向の目標位置の一例を示す線図である（A～C）。

【図6】図5の目標値により露光が行われた際の露光領域の中心の軌跡を示す平面図である。

【図7】第2の実施形態におけるステージ制御の原理を説明するための図（その1）である（A～D）。

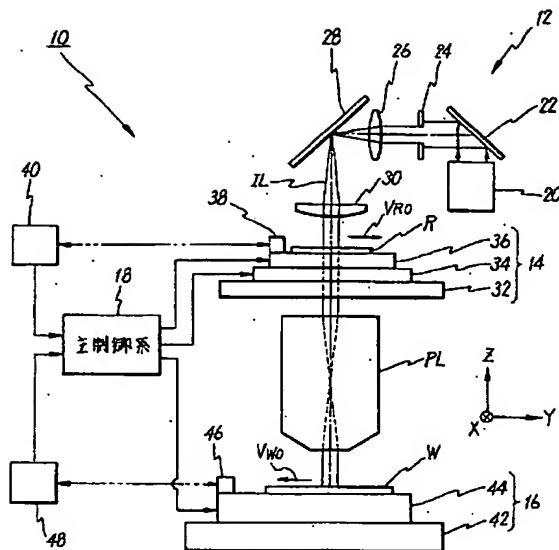
【図8】第2の実施形態におけるステージ制御の原理を説明するための図（その2）である（A～D）。

【符号の説明】

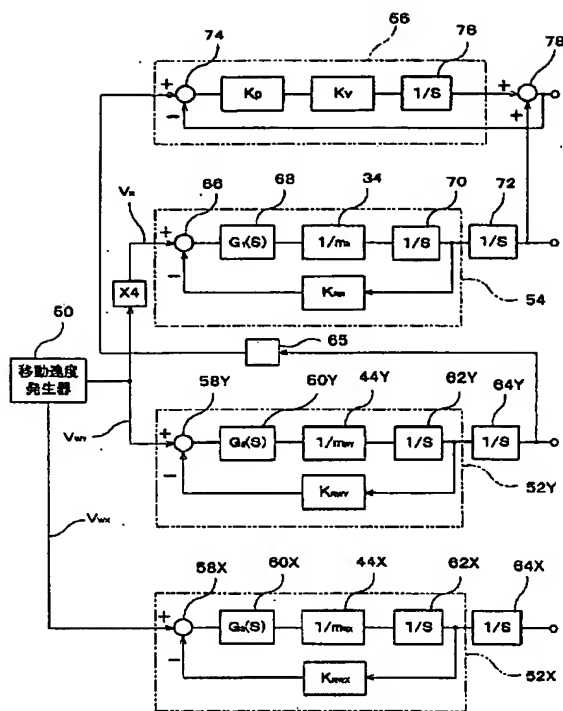
10…走査型露光装置、34…レチクル粗動ステージ（マスクステージの一部）、36…レチクル微動ステージ、44…ウエハステージ（基板ステージ）、52X…X方向ウエハステージ制御系（制御系の一部）、52Y…Y方向ウエハステージ制御系（制御系の一部）、54…レチクル粗動ステージ制御系（制御系の一部）、56…レチクル微動ステージ制御系、R…レチクル（マスク）、W…ウエハ（感応基板）、PL…投影光学系。



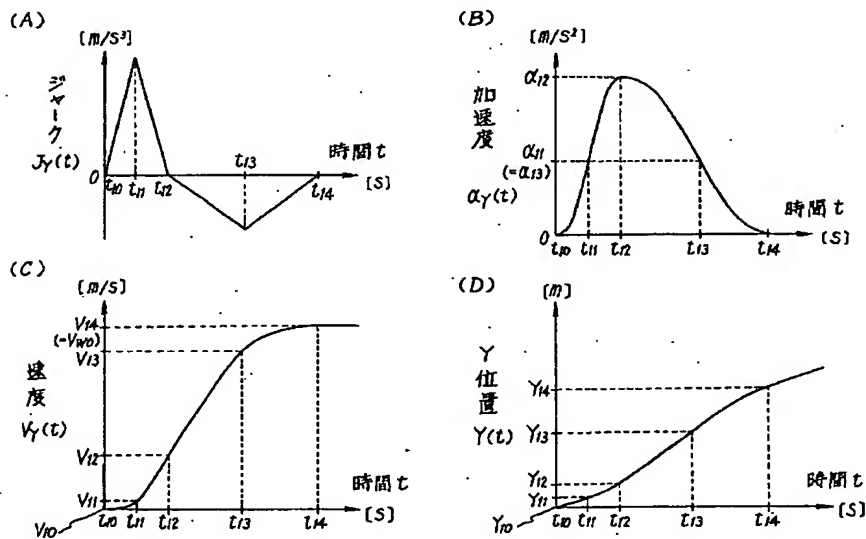
【図 1】



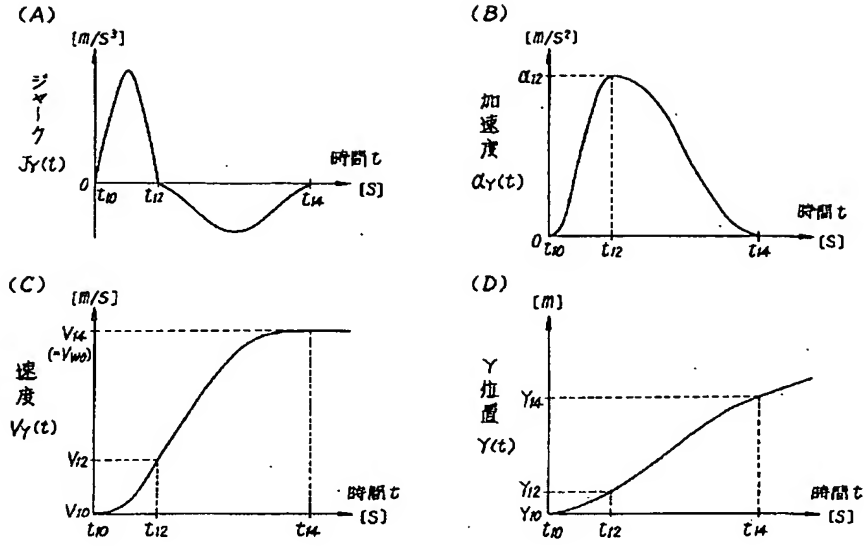
【図 2】



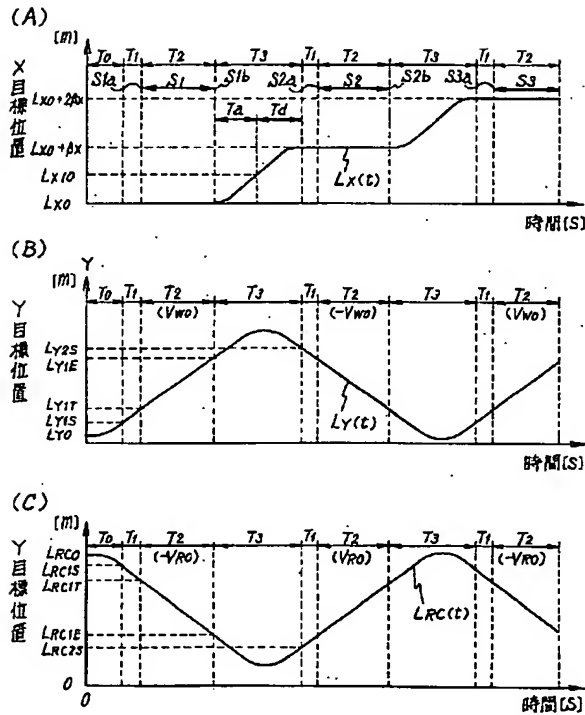
【図 3】



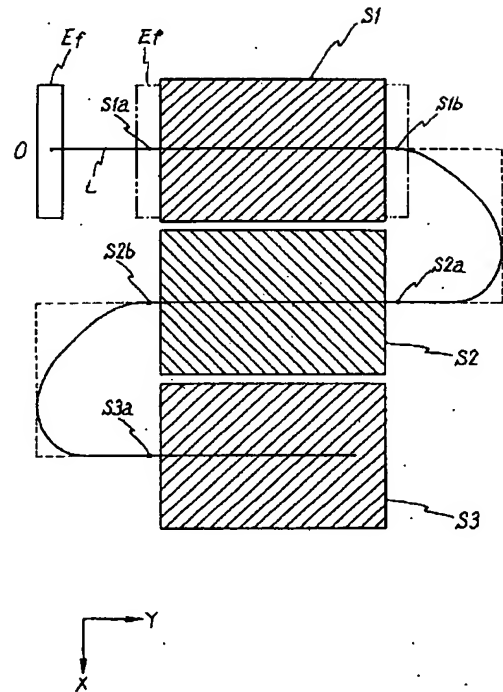
【図4】



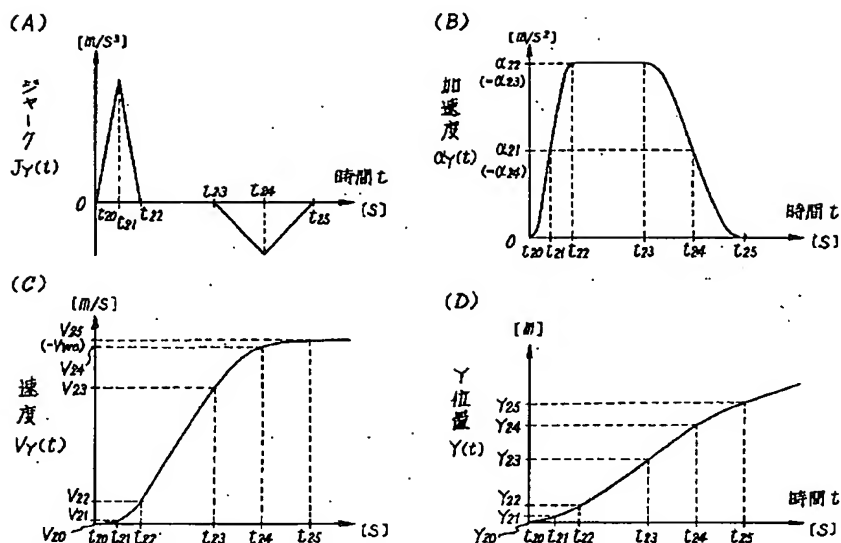
【図5】



【図6】



【図 7】



【図 8】

